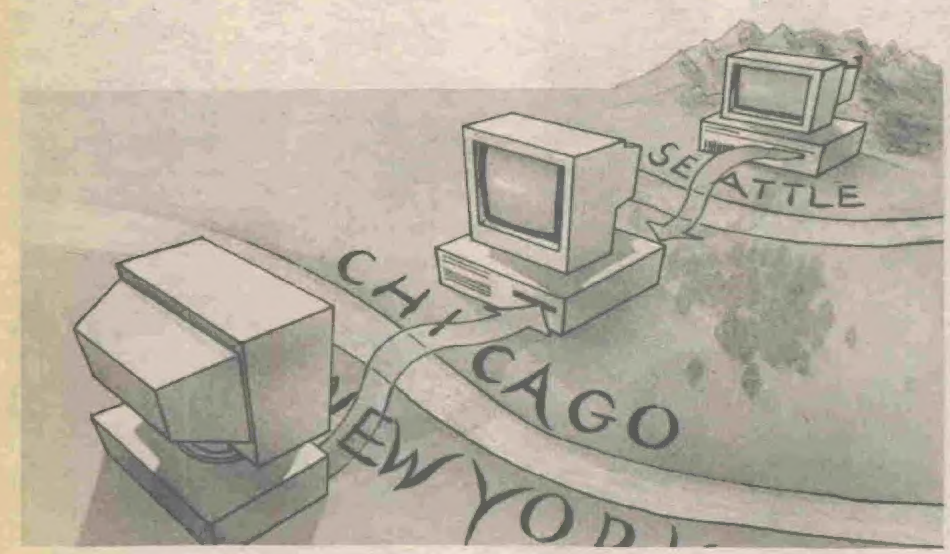
เรื่องน่าอ่าน
สนัส พรหมสิทธิ์

ซีมัวร์ เครย์
กับซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ (ตอน 2)



ย่างก้าวของพัฒนาการ จาก CDC6600 ถึง CRAY-3 สู่ยุคซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ ที่ประสิทธิภาพสูงล้ำหน้า

ฉบับที่แล้วเราได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมาของซีมัวร์ เครย์ ในการออกแบบคอมพิวเตอร์ความเร็วสูงในด้านวิทยาศาสตร์ที่เรียกว่า ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความเร็วสูงกว่าคอมพิวเตอร์ทั่วไปในการคำนวณตัวเลขอย่างแม่นยำ ความเร็วในการส่งถ่ายข้อมูล งานทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และด้านวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นงานขนาดใหญ่ งานสำคัญที่มีปัญหายาก ๆ จำเป็นต้องพึ่งซุปเปอร์คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการประมวลผลเพื่อให้งานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ยังสามารถทำการออกแบบซิมูเลชัน อย่างเช่น เครื่องบิน ระบบขนส่งดาวเทียม ระบบอุตสาหกรรมต่าง ๆ ฯลฯ เป็นต้น ได้อย่างรวดเร็ว ถูกต้อง แม่นยำ มากกว่าคอมพิวเตอร์ซิมูเลชันทั่ว ๆ ไป

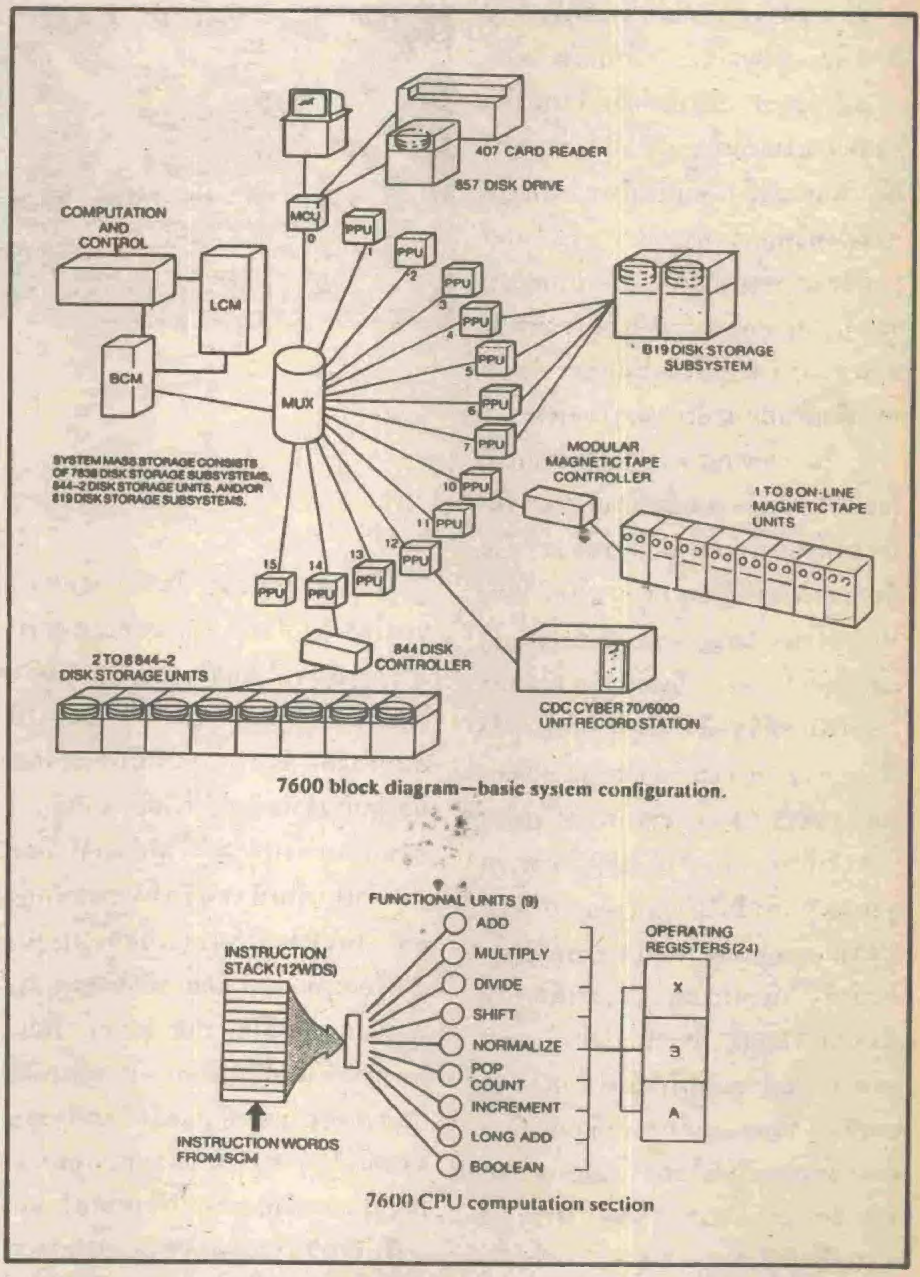
สถาปัตยกรรมของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ในทศวรรษ 1970

ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ในช่วงทศวรรษ 1970 นั้นได้ใช้ Small silicon integration (SSI) เป็น logic circuits ซึ่งในช่วงนี้ยังไม่ปรากฏมีคอมพิวเตอร์ประเภทนี้มากนัก คือตั้งแต่ปี 1969 ถึง 1976 จะมีเครื่องที่เป็นหัวเรี่ยวหัวแรงสำหรับใช้งานในด้านวิทยาศาสตร์เพียงรายเดียวคือ CDC 7600 และก็ได้รับความสำเร็จในด้านการตลาดในแง่ที่เป็นเครื่องคำนวณชั้นนำในยุคนั้น จนขายได้ถึง 80 เครื่อง

ในปี 1976 ก็ได้เกิดมีซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ที่เรียกว่า Cray-1 ที่สร้างโดย Cray Reserch Inc. ซึ่งทั้ง CDC 7600 และ Cray-1 ต่างก็เป็นซุปเปอร์ที่ออกแบบด้วยฝีมือของเครย์ทั้งสิ้น Cray-1 จึงได้รับอิทธิพลหลาย ๆ ด้านไปจาก CDC 7600 แต่ Cray-1 ก็ได้เข้ามาแทนที่ CDC 7600 ในแง่ของความเป็นจ้าวในทางคำนวณเพื่อแก้ปัญหาขนาดใหญ่ ๆ ในเวลาต่อมา เพราะเป็นซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ที่แฝงเอาสิ่งแปลก ๆ ใหม่ ๆ ไว้ในตัวมากพอที่จะพาตัวเองให้หลุดพ้นจากความเป็นคอนโทรลคาต้าในแง่ของรูปโฉมและแง่อื่น ๆ ดังจะเห็นในรูปที่ 2 ของซีมัวร์เครย์กับซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ ตอน 1

ในช่วงต้น ๆ หลังจากปี 1970 นั้นได้มีผู้ผลิตหลายรายที่พยายามจะสร้างซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ขึ้นมา เช่น เครื่องที่เรียกว่า Advanced Scientific Computer ของเท็กซัสอินสตรูเมนต์ ที่ใช้สถาปัตยกรรมแบบไปป์ไลน์ ซึ่งขายได้เพียง 7 เครื่องก็เลิกไป ต่อมาก็มี IL-

LIAC IV ที่ใช้หลักของ distributed array processor (DAP) ของ ICL แต่ก็ไม่แพร่หลาย นอกจากนี้ก็มีแบบที่เรียกว่า attached processor (AP) ที่ผู้ผลิตคอมพิวเตอร์หลายรายอื่นที่ใช้ AP ก็มีคอนไทรลดาต้ากับไอบีเอ็ม ในเวลาไล่เลี่ยกันนี้ทางคอนไทรลดาต้าก็นำเครื่องแบบ STAR-100 ออกขายอันจัดเป็นซุปเปอร์ที่ใช้สถาปัตยกรรมเวคเตอร์แบบแรก แต่ต่อมาก็มีการปรับปรุงเสียใหม่โดยใช้ LSI เทคโนโลยีและให้ชื่อว่า Cyber 205 ซึ่งได้ออกวางขายในปี 1982 เบอร์โรห์เองก็ไม่ยอมน้อยหน้าผู้อื่นคือได้ทำเครื่องที่เป็น Burroughs Scientific Processor (BSP) ที่ใช้สถาปัตยกรรมพาราเลล แต่ก็ล้มเลิกไปเมื่อปี 1979 ซุปเปอร์รายย่อย ๆ เท่าที่กล่าวมานี้ทำความเร็วได้ถึง 50 MFLOPS (million floating point operations per second) อันเป็นตัวเลขในทางทฤษฎีที่กะกันว่าจะทำได้ แต่จริง ๆ แล้วก็ไม่มีผู้ขายรายใดที่มีทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่สนับสนุนการใช้งานมาสู้ CDC 7600 ได้สักรายเดียว นอกจากซุปเปอร์คอมพิวเตอร์แบบ Cray-1



รูปที่ 1 แสดงการจัดระบบของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์แบบ CDC 7600 (รูปบน) และส่วนที่ทำหน้าที่คำนวณของซีพียู (รูปล่าง)

เทคโนโลยีของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์

ส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์นั้นนอกจากจะมีอิทธิพลในแง่ของความเร็วของคอมพิวเตอร์แล้ว ยังสามารถส่งผลถึงสถาปัตยกรรมที่จะใช้อีกด้วย แสงสว่างเดินทางด้วยความเร็ว 3×10^8 เมตรต่อวินาทีในสุญญากาศ แต่สัญญาณไฟฟ้าเดินทางผ่าน logic circuits ช้ากว่าแสงหลายเท่าอันเท่ากับเป็นการบอกว่าคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดใหญ่เทอะทะนั้นจะเป็นคอมพิวเตอร์ที่เร็วมาก ๆ หรือรอบจัดไม่ได้เลย อย่างเช่นกรณีของซุปเปอร์แบบ STAR-100 มี Startup time ที่ค่อนข้างนานเพราะ floating-point operation ต้องทำงานโดยผ่านระยะทางยาวถึง 20 เมตร อันจะตรงข้ามกับซุปเปอร์แบบ Cray-1 ที่มีส่วนสัดและขนาดต่าง ๆ กะทัดรัดกว่าหลายเท่า จนทำให้ floating-point operation เดินทางแค่ 2 เมตรเท่านั้น startup time ของ Cray-1 จึงสั้นมาก นอกจากนี้คุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุที่ใช้ทำส่วน

ประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์ก็จัดว่ามีอิทธิพลมากเพราะจะไปมีผลกับ switching speed ปัญหาต่อไปก็เป็นเรื่องของความร้อนที่เมื่อชิ้นส่วนต่าง ๆ ของคอมพิวเตอร์ยิ่งอัดแน่นกันมากเท่าใด การส่งหรือแผ่รังสีของความร้อนออกมาก็จะมากขึ้นเท่านั้น การออกแบบระบบระบายความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงและทุกอย่างจะต้องกะทัดรัดหมดจึงเป็นศิลปะอันสูงอย่างหนึ่ง

ในระยะเวลา 30 กว่าปีที่ผ่านมานี้ เทคโนโลยีที่เกี่ยวแก่ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ได้รุดหน้าไปมาก ดีไวซ์ต่าง ๆ ได้ก้าวจากการใช้หลอดสูญญากาศมาเป็น VLSI (very large scale integration) และตั้งแต่ปี 1981 เป็นต้นมากระทรวงกลาโหมสหรัฐก็ได้ให้ทุนเพื่อค้นคว้าเรื่อง very high speed integrated circuits (VHSIC) เพื่อจะหาทางปรับปรุงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ให้มีประสิทธิภาพสูงมาก ๆ เพื่อใช้ในงานสำคัญ ๆ เช่น Signal processing ในอุปกรณ์เรดาร์และโซน่าร์ เป้าหมายของวงจรเล็ก ๆ ที่เรียกว่า VHSIC นี้จะเป็นว่าในปี 1985 จะสามารถประกอบให้เล็กได้ 0.5 μm และในปี 1990 จะเล็กลงเหลือ 0.1 μm การประกอบสิ่งที่เรียกว่า gates จะเล็กราว 2-3 μm การประกอบในระดับความเล็กที่เริ่มตั้งแต่ 0.5 μm ลงไปนั้นจะต้องแก้ปัญหาหลาย ๆ ด้านให้ตกเสียก่อนด้วยการใช้เทคนิคบางอย่างเข้าช่วย lithography ที่ใช้ลำแสงอุลตร้าไวโอเล็ต

ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ในทศวรรษ 1980 ในสหรัฐ

เมื่อพูดถึงซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ในสหรัฐก็ต้องพูดถึงซีมัวร์ เครย์

ไม่ได้ เพราะปรัชญาในการออกแบบของเครย์จะต่างจากนักออกแบบส่วนมากที่มุ่งแต่จะใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ หรือใหม่สุดเท่าที่จะสรรหามาได้ จนทำให้คนอย่างเครย์ต้องกลายเป็นนักอนุรักษ์นิยมอย่างจำใจ แต่ถ้าได้ศึกษาวิธีการออกแบบของบุคคลผู้นี้ให้ถ่องแท้ ก็จะเห็นว่าเขาเป็นนักอนุรักษ์นิยมชนิดล้ำยุค เพราะเขาได้ทำการออกแบบซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ โดยอาศัยทั้งจินตนาการและแรงดลใจ (intuition) ในแง่ของการเป็นศิลปินมากกว่าการเป็นนักวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าเครย์นั้นออกแบบคอมพิวเตอร์โดยอาศัยศิลป์มากกว่าศาสตร์ โดยมุ่งไปที่การนำสุดยอดของภาคปฏิบัติมาใช้ในการออกแบบคอมพิวเตอร์ในทุกแง่ทุกมุม

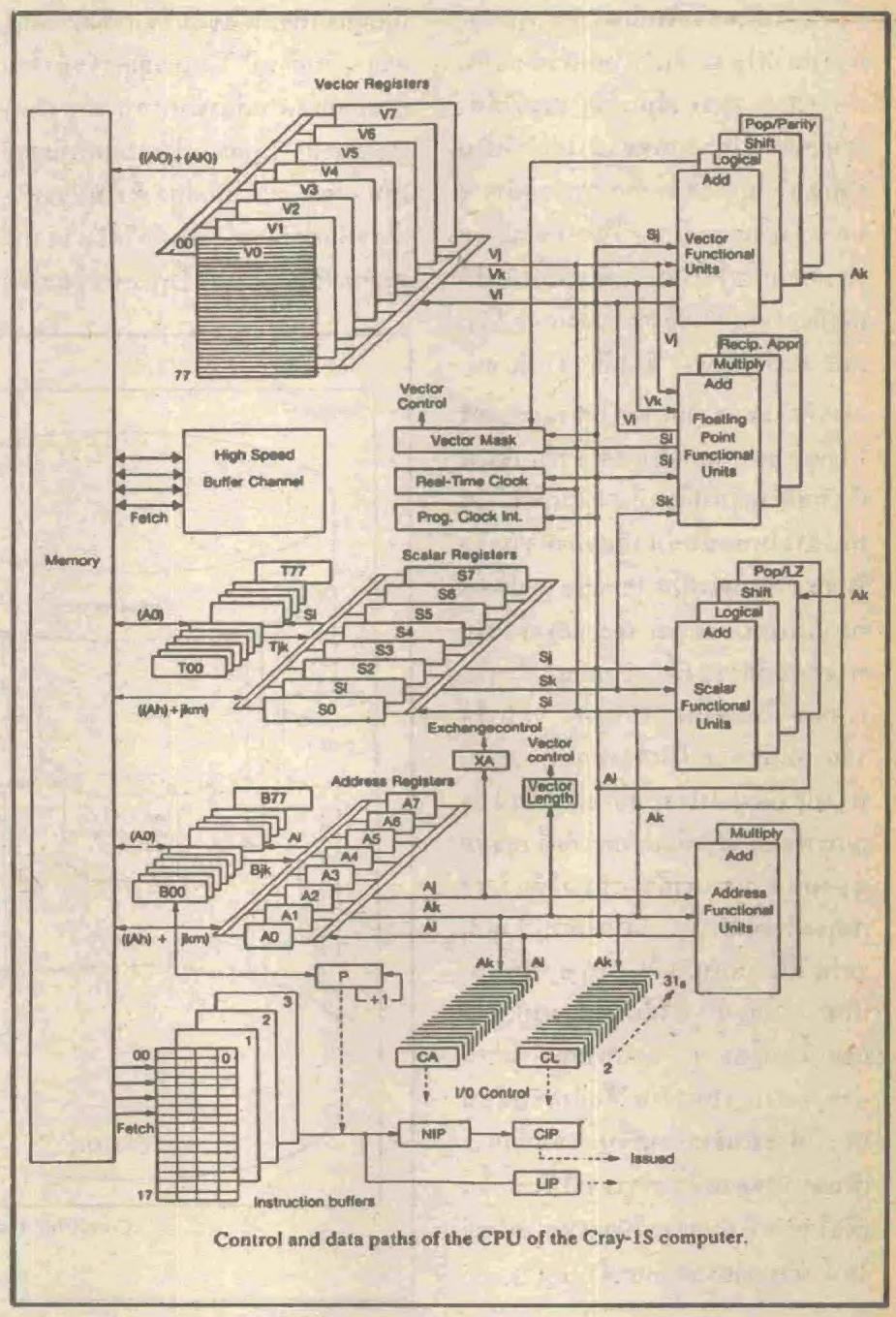
ความเป็นนักอนุรักษ์นิยมของเครย์นั้นเกิดจากการพยายามใช้เทคโนโลยีที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามั่นใจแน่นอนมาใช้ในการออกแบบคอมพิวเตอร์ ในแง่ที่ว่าทั้งฮาร์ดแวร์และแนวความคิดในด้านสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์ที่จะนำมาใช้นั้นจะต้องไว้ใจได้อย่างจริง ๆ ดังเช่นกรณีของเครื่องแบบ CDC 7600 ที่เขาเป็นคนออกแบบนั้นยังคงใช้ทรานซิสเตอร์อยู่แทนที่จะใช้ไอซี ซึ่งได้มีการนำมาใช้ในคอมพิวเตอร์ในขณะนั้นบ้างแล้วเพราะเห็นว่า ไอซีนั้นเริ่มจะเป็นที่ไว้ใจได้ในการใช้งานหนัก ถึงกระนั้นก็ตามคอมพิวเตอร์ที่ออกแบบด้วยฝีมือของเครย์ก็ยังได้ชื่อว่าเป็นผู้นำเรื่องของความเร็วอยู่ดี จนมีการกล่าวขวัญกันว่าเขาเป็นนักบุกเบิกในวงการคอมพิวเตอร์ ซึ่งเครย์ต้องรีบปฏิเสธอย่างทันควันว่าเขาไม่ใช่นักบุกเบิกไม่ว่าจะในกรณีใด เพราะนักบุกเบิกมักจะต้องทำอะไร ๆ หลาย ๆ อย่างที่ผิดพลาดอยู่บ่อย ๆ คนอย่างเขาจึงไม่ต้องการได้ชื่อว่าเป็นนักบุกเบิกเป็นอันขาด เพราะต้องการทำในสิ่งที่ตนเองแน่ใจและมั่นใจที่สุดเท่านั้น

ยุทธวิธีที่จะทำให้ความเร็วของคอมพิวเตอร์เพิ่มขึ้นนั้นมีอยู่สามทางด้วยกันคือ (1) ใช้ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่สามารถทำงานด้วยความเร็วสูง เช่น faster switching หรือสวิตช์ทางไฟฟ้าที่ทำงานได้เร็วมาก ๆ (2) ลดเวลาในการเดินทางของสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการลดขนาดของส่วนต่าง ๆ ของคอมพิวเตอร์ รวมทั้งระยะทางของการโยงต่อต่าง ๆ ให้เล็กลงให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ และ (3) ปรับปรุงสถาปัตยกรรมของคอมพิวเตอร์เพื่อให้มีการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพขึ้น ส่วนคำว่า "สถาปัตยกรรม" ของคอมพิวเตอร์ที่ได้มีการพูดถึงอยู่บ่อย ๆ นั้นจะหมายถึงการออกแบบคอมพิวเตอร์ที่หนักไปในแง่ของบริหารจัดการกับข้อมูลและการทำการคำนวณในรูปต่าง ๆ ส่วนผู้ที่ออกแบบคอมพิวเตอร์ก็จะได้ชื่อว่าเป็นสถาปนิกคอมพิวเตอร์ ทั้งหมดนี้ก็เป็นหลักเกณฑ์สั้น ๆ ที่จะก้าวไปสู่การเข้าใจปรัชญาการออกแบบคอมพิวเตอร์

แบบต่าง ๆ โดยเฉพาะซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ที่เกิดจากฝีมือซีมัวร์ เครย์

ซุปเปอร์แบบแรกของ Cray Research ก็คือ Cray-1 ที่เสร็จเป็นรูปเป็นร่างเมื่อปี ค.ศ.1976 อันเป็นระยะเวลา 4 ปี หลังจากที่ได้ตั้งบริษัทนี้ขึ้นมา รูปทรงของ Cray-1 จะแตกต่างจากคอมพิวเตอร์อื่น ๆ จนเห็นได้ชัดเจนที่สุด (ดูรูปที่ 2) เพราะมีรูปเหมือนทรงกระบอกที่ข้างในกลวง โดยมีส่วนหนึ่งเปิดไว้อันทำให้มีภาคตัดเป็นรูปตัว C โดยจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 ฟุตครึ่งและสูงเพียง 77 นิ้วเท่านั้น ซึ่งถ้าจะเปรียบกับรูปร่างอันใหญ่โตเทอะทะของซุปเปอร์แบบอื่น ๆ เช่นของคอนโทรลดาต้า หรือของเท็กซัสอินสตรูเมนต์แล้ว Cray-1 ก็จะเป็นเหมือนรถแข่งฟอร์มูล่า 1 ในท่ามกลางฝูงรถประจำทาง ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากว่าประสิทธิภาพและประสิทธิผลของ Cray-1 นั้นได้เป็นผลมาจากการสามารถเชื่อมโยงชิ้นส่วนต่าง ๆ ของฮาร์ดแวร์ให้ทำงานได้อย่างกระชับรัดกุมมาก ๆ นั่นเอง อันเป็นผลให้เกิดมีรูปทรงอันประหลาดของซุปเปอร์แบบนี้ขึ้น อันเนื่องมาจากว่าสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์นั้นเดินทางช้ากว่าแสงหลายเท่า จึงจำเป็นต้องหาวิธีเพิ่มประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ด้วยการทำสายไฟฟ้าแต่ละช่วงสั้นที่สุดเท่าที่จะสั้นได้ ซึ่งในกรณีของ Cray-1 นี้ ซีมัวร์ เครย์ได้ออกแบบให้สายแต่ละสายยาวไปเกิน 4 ฟุต และได้ออกแบบให้แมชีนอันนี้มีรูปทรงเป็นตัว C เพื่อว่าสายไฟฟ้าภายในนั้นจะได้อยู่ในรูปของเส้นโค้งที่สั้นมาก ๆ อันที่จริงแล้วรูปทรงของซุปเปอร์ที่จะทำให้สัญญาณอิเล็กทรอนิกส์เดินทางได้เร็วที่สุดนั้นจะเป็นทรงกลมแบบลูกโลก (sphere) แต่จะเกิดปัญหาเวลาให้ช่างเข้าไปเดินสายไฟดังนั้นจึงต้องหาวิธีรอมชอมด้วยการเลือกรูปทรงที่เป็นทรงกระบอกแบบเปิดทางด้านข้าง ซึ่งเมื่อมองในแนวตั้งฉากจากข้างบนลงมาก็จะเห็นภาคตัดของซุปเปอร์แบบ Cray-1 เหมือนตัว C

ความซับซ้อนของสายไฟในซุปเปอร์แบบ Cray-1 มีว่าจะต้องใช้สายไฟฟ้ายาวประมาณ 60 ไมล์และจะต้องเชื่อมต่อกันมากกว่า 100,000 จุด จึงต้องคำนึงในทางปฏิบัติให้มากที่สุดว่าเมื่อออกแบบเสร็จแล้ว ในเวลาสร้าง



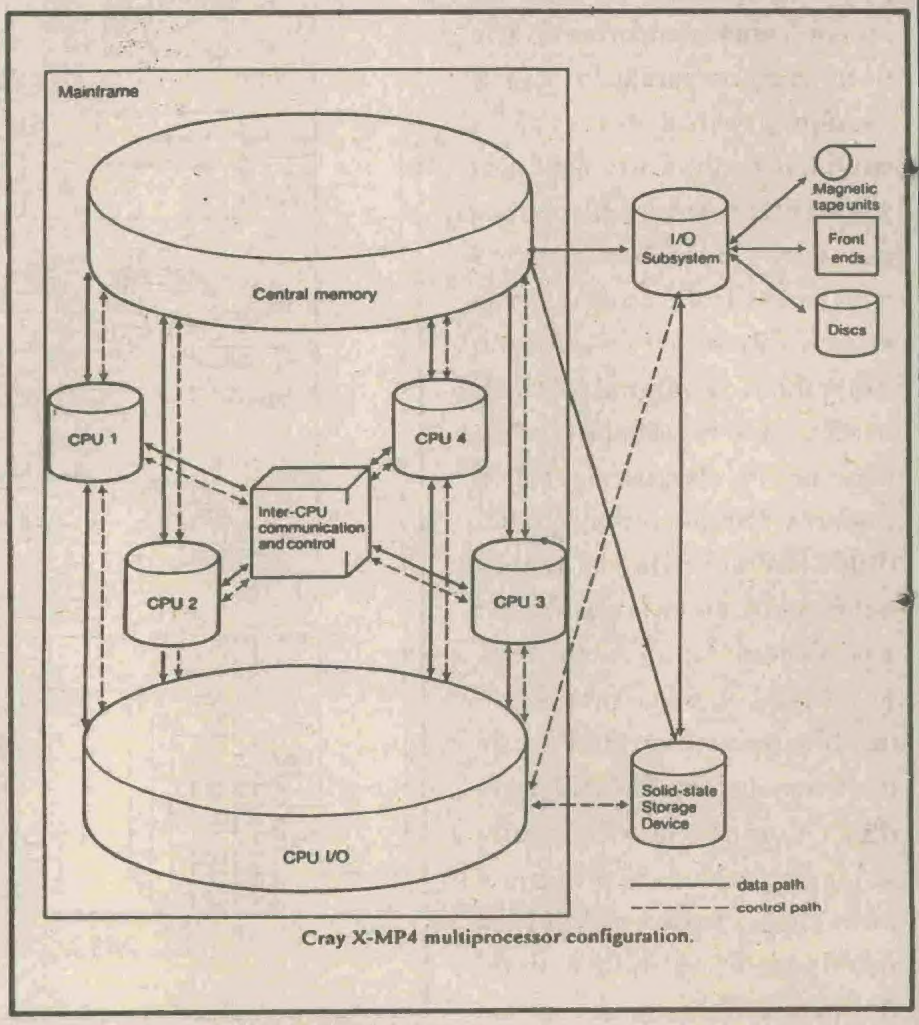
Control and data paths of the CPU of the Cray-1S computer.

รูปที่ 2 สถาปัตยกรรมของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์แบบ Cray-1

และประกอบชิ้นส่วนนั้น ช่างไฟฟ้าจะเข้าไปเดินสายไฟได้ยังไง อันเป็นที่มาของการเลือกรูปทรงกระบอกที่มีลักษณะกรวงข้างใน สิ่งที่พอจะเรียกว่าแปลกใหม่ในตัว Cray-1 ก็คือระบบระบายความร้อนที่ต้องออกแบบเป็นพิเศษจนต้องมีการจดทะเบียนลิขสิทธิ์เอาไว้ นอกจากนี้ก็ไม่มีอะไรใหม่เพราะสถาปัตยกรรมภายในจะเดินไปในแนวเดียวกันกับ CDC 7600 เว้นแต่ว่า เครย์ได้นำเอาเวคเตอร์โปรเซสเซอร์มาใส่เข้าไปใน Cray-1 โดยได้ขจัดข้อบกพร่องต่าง ๆ ของโปรเซสเซอร์แบบนี้ให้หมดไปด้วยการออกแบบให้เรียบง่ายที่สุดเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเหมือนของซุปเปอร์แบบ ASC และ Star, Cray-1 จึงได้ชื่อว่าเป็นซุปเปอร์ที่ประสบความสำเร็จในด้านเวคเตอร์โปรเซสซิ่ง และเป็นสกาล่าร์แมชีนที่เร็วที่สุดในเวลาเดียวกัน ในแง่ที่ว่าในสกาล่าร์โหมดนั้นค่าเฉลี่ยของความเร็วในขณะใช้งานจะเป็น 16 mips (millions of instructions per second) ส่วนในทางทฤษฎีอาจสูงถึง 80 mips สำหรับเวคเตอร์โหมดนั้น Cray-1 จะทำได้ 160 เมกะฟลอปในทางทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติจะแปรระหว่าง 80 ถึง 100 เมกะฟลอป เมื่อเทียบกับความเร็วสูงสุดของคอนโทรลดาต้า ที่ทำได้แค่ 36 เมกะฟลอปเท่านั้น ซึ่งหลังจากปี ค.ศ. 1976 เป็นต้นมานับเป็นเวลา 6 ปีผู้ออกแบบ Cray-1 ก็ได้ปรับปรุงซุปเปอร์แบบนี้มาเรื่อย ๆ ด้วยการทำให้ส่วนต่าง ๆ สามารถทำงานได้อย่างซับซ้อนและมีประสิทธิผลมากขึ้น รวมทั้งการเพิ่มขนาดของหน่วยความจำให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้เหมาะกับการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ในด้านวิทยาศาสตร์และด้านอื่น ๆ

ได้กล่าวตั้งแต่แรกแล้วว่า เครย์นั้นไม่ชอบงานบริหารจึงนั่งเก้าอี้ประธานของบริษัท Cray Research ได้ไม่นาน ก็ต้องก้าวลงจากบัลลังก์ในปี ค.ศ. 1981 เพื่อมาเป็นวิศวกรที่ปรึกษาในรูปของ private research consultant โดยให้บริษัทเป็นผู้ให้ทุนการค้นคว้าออกแบบซุปเปอร์คอมพิวเตอร์และสามารถเป็นผู้แรกที่จะได้ลิขสิทธิ์จากสิ่งประดิษฐ์ต่าง ๆ ในด้านนี้ โดยเครย์เองจะทำงานแบบเอกเทศ แต่ถ้าหากว่าบริษัท Cray Research ไม่อยากทำตามแบบที่เครย์เสนอ เขาก็จะทำเสียเอง ซึ่งในช่วงหัวเลี้ยวหัวต่อนี้เอง เครย์ก็ได้รับวิศวกรระดับปริญญาเอกไว้คนหนึ่งชื่อสตีฟ เชน (Steve Chen) โดยเห็นว่าบุคคลผู้นี้มีปรีชาญาณสูงมาก ๆ สำหรับงานออกแบบซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ และน่าจะเป็นทายาทของเครย์ต่อไปในวันข้างหน้าได้ในแง่ของการทำให้ซุปเปอร์ในอนาคตมีฝีเท้าจัดขึ้น จึงจะขอย้อนหลังไปพูดถึงความเป็นมาของสตีฟ เช็นสักเล็กน้อย

เชนจบปริญญาเอกทางคอมพิวเตอร์ศาสตร์จากมหาวิทยาลัยแห่งอิลินอยส์ เมื่อปี ค.ศ.1975 อันเป็นแหล่งที่เกิดของซุปเปอร์ที่เรียกว่า ILLIAC ที่มีปรัชญาในการเพิ่มความเร็วของคอมพิวเตอร์โดยอาศัยหลักของ parallelism



Cray X-MP4 multiprocessor configuration.

รูปที่ 3 Cray X-MP 4 ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ที่มีซีพียู 4 ตัววิ่งขนานกัน

อันเป็นการทำให้โปรเซสเซอร์ (หรือคอมพิวเตอร์) หลาย ๆ ตัวทำงานแบบพร้อมกันไป ซึ่งเชนเห็นว่าเขาน่าจะมุ่งไปในทางนี้ มากกว่าการเจริญรอยตามปรัชญาของเครย์ จึงเป็นที่มาของซุปเปอร์แบบ Cray X-MP ที่มีโปรเซสเซอร์หลาย ๆ ตัว Cray X-MP รุ่นแรกที่ปรากฏออกมาราวปี 1982 นั้นเป็นการเอา Cray-1 สองตัวมาวิ่งขนานกันจนทำให้ได้ความเร็วเวคเตอร์สูงถึง 420 เมกะฟลอป จึงถือได้ว่าเชนนั้นเป็นลูกศิษย์ที่กำลังมาแรงกว่าตัวปรมาจารย์ซีมัวร์ เครย์เสียแล้ว และจากนั้นซุปเปอร์แบบ Cray X-MP ก็ด้วยวิวัฒนาการมาเรื่อย ๆ จากการใช้โปรเซสเซอร์สองตัวมาเป็น 4 ตัว (เช่นรูปที่ 3) และมากขึ้นเรื่อย ๆ จากนี้ก็จะขอสรุปเรื่องราวของ Cray ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ด้วยการมาดูผลงานชิ้นท้าย ๆ ของเครย์ว่ามีอะไรบ้างโดยจะพูดถึงซุปเปอร์แบบ Cray-2

ซุปเปอร์แบบ Cray-2 ปรากฏโฉมออกมาเมื่อฤดูร้อนของปี 1985 ในสหรัฐในราคา 17.5 ล้านเหรียญฯ (ราคาของ Cray-1 จะตกราว 8.8 ล้านเหรียญฯ) โดยสามารถทำความเร็วได้มากกว่า Cray-1 ถึง 12 เท่าในแง่ของการมีความเร็วสูงสุดเท่ากับ 1.7 พันล้าน floating-point operations ต่อวินาที หรือ 1.7 กิกะฟลอป จึงจัดว่าเร็วที่สุดในโลกในขณะนั้น อันเนื่องมาจากว่าได้มีการทำวงจรไฟฟ้าของ Cray-2 ให้กะทัดรัดที่สุดด้วยการซ้อนไมโครชิพให้เป็นบล็อกแล้วทำการเชื่อมโยงบล็อกต่าง ๆ แบบสามมิติ ซึ่งในเวลาอันไล่เลี่ยกันนี้เครย์ก็เริ่มวางแผนที่จะทำซุปเปอร์ที่มีโปรเซสเซอร์ (ขนาดเท่ากล่องขนมปัง) จำนวน 16 ตัว เพื่อลบล้างสถิติของตัวไปพร้อม ๆ กัน สรุปแล้ว Cray-2 นั้นมีความเร็วสกาล่าร์เท่ากับ 975 mips และความเร็วเวคเตอร์เท่ากับ 1732 เมกะฟลอป อันเป็นความเร็วสูงสุดในทางทฤษฎี ซึ่งในยุคเดียวกันนี้ก็มีซุปเปอร์เช่น Cyber 205 รวมทั้งสถาปัตยกรรมแบบ heterogeneous element processor ปรากฏออกมา Cyber 205 ให้ความเร็วสูงสุดแบบสกาล่าร์และเวคเตอร์เท่ากับ 50 mips และ 200 เมกะฟลอปตามลำดับ ส่วนสถาปัตยกรรม HEP ของ Denelcor นั้นจะมี peak performance เท่ากับ 160 mips ในกรณีที่มี 16 PEM (Program execution modules) ซึ่งก่อนที่จะจบหัวข้อนี้จะขอนำตัวเลขแสดงการวัดประสิทธิผลที่เรียกว่า Linpack test มาแสดงในรูปที่ 4 สำหรับบรรดาซุปเปอร์คอมพิวเตอร์และที่ไม่ใช่ซุปเปอร์ อันจะทำให้ผู้อ่านสามารถเห็นภาพที่กว้างที่สุดว่าในยุทธจักรของความเร็วในยุคปัจจุบัน (1988) นั้นได้มีใครเข้ามาอยู่ในสนามแข่งบ้าง

Computer performance solving a system of linear equations with Linpack† (full precision, all Fortran).

System	Mflops
*ETA 10-E (one processor, 10.5 ns)	52
*NEC SX-2	43
*Cray X-MP-4 (one processor, 8.5 ns)	39
*NEC SX-1	36
*NEC SX-1E	32
*Cray X-MP-2 (one processor)	24
*Cray-2 (one processor)	21
*Amdahl 1200	19
*CDC Cyber 205 (two-pipe)	17
*Fujitsu VP-200	17
*Hitachi S-810/20	17
*Cray 1S	12
*IBM 3090/180 VF (one processor)	12
Fujitsu M-380	6.3
CDC Cyber 875	4.8
Amdahl 5860 HSFPF	3.9
CDC 7600	3.3
IBM 3090/120E	3.1
Convex C-1/XP	3.0
FPS-264/20 (M64/50)	3.0
IBM 3081 K (one processor)	2.1
Honeywell DPS 8/88	1.7
Amdahl 470 V/8	1.6
IBM 370/168 (fast multiplier)	1.2
Amdahl 470 V/6	1.1
ELXSI 6420	1.5
DEC VAX 8600	.48
IBM PC (W/8087)	.012

*These machines are generally acknowledged to be supercomputers.

†Data from J. Dongarra in "Performance of Various Computers Using Standard Linear Equations Software in a Fortran Environment," Table 1 (February 2, 1988, Linpack, full precision, no Bias), *Computer Architecture News*, Vol. 16, No. 1, March 1988.

รูปที่ 4 อันดับความเร็วของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ (*) และที่ไม่ใช่ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์

ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ในทศวรรษ 1980 ในญี่ปุ่น

อันที่จริงแล้วผู้เขียนแทบไม่ต้องมีหัวข้อนี้อยู่ในเรื่องของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ก็ย่อมทำได้เพราะถ้าจะมองจากแค่ในรูปที่ 4 ก็จะเห็นได้อย่างง่าย ๆ ว่าญี่ปุ่นได้มีความพยายามในเรื่องนี้อย่างมาก ๆ เหมือนเรื่องอื่น ๆ ทั้งหลายในโลก (หรืออาจจะนอกโลก) เพราะจาก 13 อันดับแรกที่เป็นซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ที่แสดงไว้ด้วย "+" ดังในรูปที่ 4 นั้น ซุปเปอร์ของญี่ปุ่นได้เข้ามาครองอันดับ ชนิดไม่น้อยหน้าใครถึง 5 ตำแหน่ง! (เอ็นอีซี, ฟูจิตสึ, ฮิตาชิ) จึงแทบไม่ต้องพูดอะไรมากว่าญี่ปุ่นนั้นมาแรงในเรื่องนี้ และคงคิดจะครองโลกสักวันหนึ่ง นอกจากนี้ญี่ปุ่นยังได้ตั้งโครงการคอมพิวเตอร์ยุคที่ห้าและยุคที่หกขึ้นมาและได้ดำเนินการไปบ้างแล้ว โดยมีจุดมุ่งหมายว่าจะทำให้คอมพิวเตอร์เร็วขึ้นมาก ๆ และฉลาดขึ้นพร้อมไปในเวลาเดียวกัน

จึงพอสรุปได้ว่า ถ้าใครได้ไปเยี่ยมชมอุตสาหกรรมซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ในประเทศญี่ปุ่นก็จะเห็นถึงการรุดหน้าทั้งในด้านการวิจัยและพัฒนาในแง่ต่าง ๆ สำหรับด้านนี้ รวมทั้งการพยายามที่จะขยายการใช้งานคอมพิวเตอร์ให้แผ่กว้างครอบคลุมไปถึงอาณาจักรของจิตวิทยาจิตศาสตร์ (psychiatry) จนถึงโครงสร้างของสมองมนุษย์ แต่ญี่ปุ่นก็ยังมีจุดอ่อนอีกหลายด้านโดยเฉพาะในด้านที่สำคัญมาก ๆ เช่น ซอฟต์แวร์ที่ยังต้องพึ่งพาไอบีเอ็มอยู่เกือบจะทั้งหมด ซึ่งญี่ปุ่นก็พยายามแก้ปัญหาในด้านซอฟต์แวร์เป็นเรื่อง ๆ โดยได้หยิบเอาเรื่องที่สำคัญเป็นอันดับแรก ๆ ขึ้นมาทำการ

Country	Number of Supercomputers
United States	134
Japan	70
United Kingdom	19
Germany	17
France	16
Canada	7
Holland	3
Norway	3
Sweden	2
Switzerland	2
Abu Dhabi	1
Australia	1
Italy	1
Saudi Arabia	1
Taiwan	1

รูปที่ 5 แสดงการติดตั้งซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ในประเทศที่เป็นโลกเฮรี สิ้นสุดเมื่อ 31/12/87

วิจัยเป็นงาน ๆ ไป เช่น การผลิตคอมพายเลอร์สำหรับซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ รวมทั้งเทคนิคใหม่ ๆ ที่จะมาใช้ในคอมพายเลอร์ (เช่น automated vectorization ฯลฯ) จึงน่าติดตามกันต่อไปว่าแชมป์อันแท้จริงในด้านซุปเปอร์ในอนาคตอันใกล้จะตกเป็นของใคร

การคำนวณทางวิทยาศาสตร์

ปัญหาต่าง ๆ ที่จะนำมาทำให้อยู่ในรูปที่เหมาะในการใช้วิธีการทางคำนวณนั้นจะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้ :

ต้องมีโมเดลทางคำนวณ (หรือทางคณิตศาสตร์) หรือกรรมวิธีที่จะคำนวณหาคำตอบโดยประมาณ

คอมพิวเตอร์ที่ใช้แก้ปัญหาอันใดอันหนึ่งจะต้องเร็วพอที่จะให้คำตอบออกมาในเวลาอันควรเพื่อให้สามารถแก้ไขสิ่งผิดพลาดอันอาจมีในตัวโปรแกรมหรือในที่อื่นได้ทันท่วงทีโดยไม่ต้องรอนานจนเกินไป เพราะตัวคอมพิวเตอร์เองนั้น มีโอกาสที่จะทำงานผิดพลาดได้ในทุก ๆ ช่วงระยะเวลาหนึ่ง (เช่น 1 ถึง 2 เดือน)

real memory ยิ่งมีขนาดใหญ่เท่าใด การคำนวณจะยิ่งเร็วขึ้นเท่านั้น นอกจากนี้ซีพียูยังต้องทำงานให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้และถ้าสามารถทำงานแบบขนานกัน (Parallelism) ได้ก็จะดีที่สุด ฯลฯ

ซอฟต์แวร์และสกาล่าร์ออปติไมเซชัน

วัฏจักรของซอฟต์แวร์นั้นมีระยะเวลาค่อนข้างยาวอันหมายถึงการต้องใช้เงินเป็นจำนวนมากมาบำรุงรักษา คุณภาพของซอฟต์แวร์จึงขึ้นกับสิ่งที่เรียกว่า "แฟคเตอร์ของคุณภาพ" เช่น :

* readability เข้าใจง่าย
* portability ใช้ในเครื่องแบบต่าง ๆ ได้ง่าย
* testibility ทดสอบง่าย
* maintainability บำรุงรักษาได้ง่าย

ซึ่งแฟกเตอร์เหล่านี้จะมีส่วนทำให้เกิด optimal solutions ในเวลาแก้ปัญหาอันหนึ่ง ๆ ในรูปของการสามารถขจัดความซับซ้อน (Complexity) ให้หมดไป การวัดความซับซ้อนของซอฟต์แวร์นั้นจะต้องพิจารณาอยู่สองสิ่งด้วยกันคือ (1) date flow complexity และ (2) control flow complexity ฯลฯ สรุปได้ว่าความซับซ้อนของโปรแกรมจะเกิดจากความไม่มีระเบียบหรือการขาดความต่อเนื่องของตัวโปรแกรม รวมทั้งการมีโครงสร้างที่ไม่ดีซึ่งจะส่งผลร้ายให้กับออปติไมเซชัน (optimization)

แนวความคิดในเรื่องของออปติไมเซชันนั้นแบ่งออกได้เป็นสองทางด้วย

กันคือ :

(ก) เนื่องจากฮาร์ดแวร์นั้นมีแนวโน้มว่าจะถูกลงเรื่อย ๆ เมื่อเทียบกับซอฟต์แวร์จึงน่าจะประหยัดกว่าที่จะหันมาทำให้ฮาร์ดแวร์มีอานุภาพมากขึ้นแทนที่จะทุ่มค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมากให้กับวิศวกรซอฟต์แวร์เพื่อออปติไมซ์ (optimize) โค้ด (codes) และ

(ข) แนวความคิดของกลุ่มที่สองนี้เห็นว่า ออปติไมเซชัน เป็นเรื่องสำคัญมาก ๆ ในแง่ของระเบียบวิธีในการดำเนินงานและจะพยายามทุกวิถีทางเพื่อที่จะทำให้ออปติไมเซชันประสบผลสำเร็จ

ในแง่ของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์นั้นออปติไมเซชันตามในข้อ (ข) ข้างต้นจึงน่าจะเป็นประโยชน์มากกว่าวิธีอื่น เพราะสถาปัตยกรรมของคอมพิวเตอร์ประเภทนี้มีศักยภาพว่าจะสามารถให้อานุภาพทางคำนวณได้นับเป็นจำนวนเท่าทวีคูณ ถ้าสามารถนำมาใช้ในรูปที่จะเกิดความพอเหมาะพอดีที่สุด (optimal way)

เวคเตอร์ไรเซชัน

ฮาร์ดแวร์ของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่จะใช้สถาปัตยกรรมแบบไปป์ไลน์ (pipeline) ยกเว้น HEP-1 ของ Denelcor นอกจากนี้ยังได้มีการแบ่งต่อไปอีกว่าเครื่องแบบใดเป็นเวคเตอร์ แมชีนหรือสกาล่าร์แมชีน ในกรณีนี้ก็พอจะยกตัวอย่างได้ว่า Cray-1 เป็นเวคเตอร์แมชีน ส่วน CDC 7600 เป็นสกาล่าร์ แมชีน ต่อไปก็มาดูว่าคำว่า variable achievable processing power ของแมชีนอันใดอันหนึ่งนั้นมีความหมายว่าอย่างไร โดยจะเริ่มจากคำถามที่ว่า ทำไม Cray-1 จึงเร็วกว่า CDC 7600 ถึง 10-15 เท่าในบางแอพพลิเคชัน การที่จะอธิบายในเรื่องนี้ให้ได้ชัดเจนนั้นจะต้องเริ่มในจุดที่เป็นพื้นฐานที่สุด นั่นก็คือเรื่องของ basic measurements หรือการวัดขั้นพื้นฐานในแง่ที่ว่าการคำนวณต่าง ๆ ในคอมพิวเตอร์จะวัดด้วยคาบนาฬิกา (clock periods) หรือคาบเวลาที่ใช้ในการคำนวณจนได้ผลออกมา เช่น การบวกแบบ floating-point ใน Cray-1 จะใช้เวลา 6 คาบนาฬิกา และจะเท่ากับ 75 นาโนวินาที (เนื่องจากแต่ละคาบนาฬิกาของ Cray-1 จะนานเท่ากับ 12.5 นาโนวินาที) ส่วน CDC 7600 นั้นมีคาบนาฬิกาที่ช้ากว่า Cray-1 คือมีคาบนาฬิกาเท่ากับ 27.5 นาโนวินาทีและต้องการเวลา 4 คาบนาฬิกาสำหรับการบวกหนึ่งครั้ง จึงต้องใช้เวลานานเท่ากับ 110 นาโนวินาที อันนี้ก็เป็นการเปรียบเทียบในขั้นแรก ๆ ระหว่างซุปเปอร์สองยี่ห้อซึ่งจะต้องดูสิ่งอื่น ๆ ต่อไปอีก เช่น การบวกเลขเป็นจำนวนที่มีความยาวเกินกว่า 24 บิต ซึ่งจะใช้เวลา 3 คาบนาฬิกา (37.5 นาโนวินาที) สำหรับ Cray-1 และใช้เวลา 2 คาบนาฬิกา (55 นาโนวินาที) สำหรับ CDC 7600 ตัวอย่างสองอันดังกล่าวมีไว้เพื่อต้องการแสดงว่า การดูความเร็วสัมพัทธ์ของฟังก์ชันแนล ยูนิตของ Cray-1 และ CDC 7600 จากผลของการคำนวณอย่างง่าย ๆ จะยังไม่พอเพียงที่จะบอกว่าใครเก่งกว่าใคร จึงต้องทดสอบต่อไปอีก

จำนวนคาบนาฬิกาของ Cray-1 จะเท่ากับ 80 ล้านต่อวินาที ส่วนของ CDC 7600 จะมีจำนวนคาบนาฬิกา 37.5 ล้านต่อวินาที และจากตัวอย่างข้างต้นจะเห็นว่า การคำนวณแบบสกาล่าร์นั้นต้องการเวลามากกว่าหนึ่งคาบนาฬิกากว่าจะได้ผลออกมา CDC 7600 นั้นได้รับการประเมินว่าเป็นแมชีนแบบ 8-10 เมกะฟลอป และก็มีอยู่บ่อย ๆ ที่เมื่อนำโปรแกรมฟอร์แทรนมาวิ่งในเครื่องแบบนี้ก็จะให้ความเร็วได้แค่เพียง 1-2 เมกะฟลอปเท่านั้น ส่วน Cray-1 ก็จะให้ความเร็วในทางปฏิบัติได้ราว ๆ 15-50 เมกะฟลอป แม้ว่าต่างคนต่างใช้ออปติไมซ์โค้ดมากพอ ๆ กัน ข้อยุติของเรื่องนี้จึงอยู่ที่ว่าความเร็วอันเหนือชั้นของ Cray-1 นั้นอยู่ที่การสามารถทำการคำนวณในรูปของ parallel operation รวมทั้งการมีเวคเตอร์โหมดให้ใช้บวกกับการสามารถทำให้ฟังก์ชันแนลยูนิตหลาย ๆ ตัวทำงานได้พร้อม ๆ กัน นอกจากนี้ startup time อันสั้นของ Cray-1 ก็เข้ามามีส่วนกับความเร็วหรือฝีเท้าในเวลาคำนวณได้มากกว่าซุปเปอร์อีกหลาย ๆ ยี่ห้อ จากนี้ก็จะขอพูดถึงบทบาทของเวคเตอร์ ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์เพื่อส่งท้ายในหัวข้อนี้ว่า ซุปเปอร์เช่นในตระกูล Cray ฯลฯ นั้นมีความสามารถในแง่ของเวคเตอร์โปรเซสซิ่งแค่ไหน

เวคเตอร์ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์เปิดโอกาสให้ผู้เขียนโปรแกรมทำเวคเตอร์ไรเซชันได้สองแบบคือ แบบอัตโนมัติ และแบบที่ต้องกำหนดเข้าไปจากภาย-

นอก แบบอัตโนมัติ (automatic vectorization) นั้นจะขึ้นกับความสามารถของฟอร์แทรนคอมพายเลอร์ของเครื่องแต่ละแบบในการหาว่าจะมีส่วนไหนของโปรแกรมฟอร์แทรนที่สามารถทำให้อยู่ในรูปของเวคเตอร์ได้บ้างแล้วจึงสร้างเวคเตอร์อินสตรัคชันขึ้นมาโดยอัตโนมัติในขั้นที่เรียกว่า code generation phase พฤติกรรมดังกล่าวพอจะจัดให้เป็นรูปแบบหนึ่งของการทำออปติไมเซชันด้วยคอมพายเลอร์ ส่วนเวคเตอร์ไรเซชันแบบกำหนดจากภายนอก (explicit vectorization) นั้นจะใช้คำสั่งพิเศษจำนวนหนึ่งที่เป็นส่วนขยายออกไปจากภาษาฟอร์แทรนในรูปของ special directives และ syntax extensions อันนี้ก็เล่าไว้ให้ทราบเพียงเพื่อเป็นการรู้จักในขั้นต้นเท่านั้น

ประสิทธิผลของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์

ประสิทธิผลของคอมพิวเตอร์หรือซุปเปอร์คอมพิวเตอร์จะผูกพันกับความพอเหมาะพอดี (optimization) ในการใช้ระบบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ในรูปที่จะก่อให้เกิดมรรคผลทางคำนวณให้มากที่สุด จึงขอเริ่มที่ออปติไมเซชันของการคำนวณโดยอาศัยฮาร์ดแวร์ ซึ่งจะใช้องค์ประกอบที่เป็นฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ ให้ทำงานอย่างผสมกลมกลืนกันจนเกิดความพอเหมาะพอดีที่สุดในรูปของ :

(ก) การใช้ฟังก์ชันแนล ยูนิต แบบอิสระเป็นจำนวนมาก

(ข) องค์ประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับเก็บบันทึกผลของการคำนวณกึ่งทางเพื่อประโยชน์ในด้าน segmentation ของฟังก์ชันแนลยูนิต

(ค) เวคเตอร์ อินสตรัคชัน สำหรับไปป์ไลน์โอเปอเรชัน

(ง) พาราเลล อินสตรัคชัน สำหรับโอเปอเรชันของโปรเซสเซอร์แบบอะเรย์

(จ) หน่วยความจำที่มีขนาดใหญ่พร้อมด้วยการเข้าถึงหน่วยความจำที่เร็ว รวมทั้งการมีเส้นทางที่จะเชื่อมโยงกับหน่วยความจำด้วยกันได้มากมายหลายทาง พร้อมทั้งเมมโมรี-แบงก์

(ฉ) หน่วยความจำสำรอง (secondary) ที่เร็ว เช่น solid state devices

(ช) มี I/O โปรเซสเซอร์หลายตัวเพื่อทำให้ I/O ต่าง ๆ สามารถทำงานแบบเกยกัน (overlap) ได้

(ซ) มีดิสก์ (disk) สำรองที่ทำงานได้เร็วมาก ๆ เพื่อใช้ในการเรียกเก็บข้อมูล

ส่วนออปติไมเซชันโดยอาศัยซอฟต์แวร์นั้นทำได้ดังนี้:-

(ก) ใช้อัลกอริทึม (algorithms) ที่เร็วมาก ๆ

(ข) พัฒนาฟอร์แทรนคอมพายเลอร์ที่จะอยู่ในรูปที่สามารถออปติไมซ์ (optimize) ได้มาก ๆ

(ค) โปรแกรมมิ่งทูล (tools) ต่าง ๆ สำหรับแกะรอยการไหล (flow tracing) ของโปรแกรมและทำหน้าที่โปรแกรมจูนนิ่ง (tuning)

(ง) ใช้คนเป็นผู้ปรับปรุงโปรแกรมไม่ให้เกิด การขาดความต่อเนื่อง (discontinuities) อันจะเป็นอุปสรรคต่อเวคเตอร์ไรเซชัน รวมทั้งการเขียนโปรแกรมให้เหมาะสมกับประเภทของฮาร์ดแวร์

(จ) การเกิดมีเมนเฟรมที่มีซีพียูหลาย ๆ ตัวที่ทำให้ต้องพัฒนาซอฟต์แวร์ ซึ่งจะทำการคำนวณปัญหาที่ถูกแบ่งออกเป็นส่วน ๆ (sections) ให้ได้พร้อม ๆ กันหรือขนานกัน (parallel)

ที่ใช้ของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์

ตัวอย่างที่แสดงการใช้ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์สำหรับในที่นี้จะเป็นการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ ซึ่งเกี่ยวกับเสถียรภาพของระบบสุริยะ (stability of solar system) ส่วนซุปเปอร์ที่ใช้ในกรณีก็คือ Cray-1

เป็นที่ทราบกันว่า ดาวพระเคราะห์ที่โคจรรอบดวงอาทิตย์นั้นโคจรไปในลักษณะที่เกือบจะเป็นวงกลมและเกือบจะอยู่ในแนวระนาบ (coplanar) เป็นส่วนใหญ่ ส่วนวงโคจรนั้นเล่าก็อยู่ในแนวที่ค่อนข้างแน่นอน และไม่เคยปรากฏว่าได้มีการกวัดแกว่งเข้ามาใกล้กัน ซึ่งความจริงแล้ววงโคจรของดาวพระเคราะห์ขนาดใหญ่ (จากเมอร์คูรี่ถึงเนปจูน) นั้นได้รับการจัดลำดับให้โคจรชนิดไม่มีโอกาสข้ามตัดกันเลย ปัญหาจึงมีว่าปรากฏการณ์ดังได้กล่าวมาทั้งหมดนี้จะยังคงเป็นเช่นนี้อยู่ต่อไปอีกหรือไม่ และจะคงอยู่อีกนานเท่าไหร่ อันเป็นปัญหาที่เกี่ยวกับเสถียรภาพของระบบสุริยะซึ่งอยู่ในข่ายที่จะนำมาตั้งเป็นปัญหาทางคำนวณได้ และถ้าจะมองในแง่ของกลศาสตร์หรือพลศาสตร์แล้ว ปัญหาดังกล่าวในข้างต้นจะอยู่ในรูปที่เรียกว่า "10-body problem" โดยมีดวงอาทิตย์และดาวพระเคราะห์ต่าง ๆ ที่มีสภาพเหมือนมวลที่เป็นจุด (point-mass) ดึงดูดซึ่งกันและกันและมีพฤติภาพที่เป็นตามกฎกำลังสองผกผันของนิวตัน (Newton's inverse square law) ซึ่งจนกระทั่งปัจจุบันก็ยังไม่มีใครที่แก้ปัญหาอันนี้

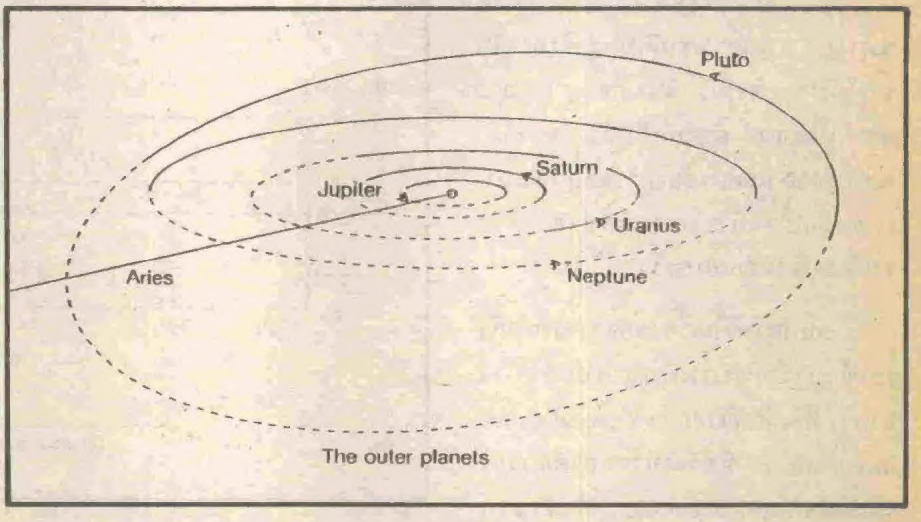
ได้อย่างสมบูรณ์แบบ

ปัญหาในเรื่องของเสถียรภาพของสุริยจักรวาลนี้ได้มีผู้ผูกเป็นสมการทางคำนวณมานานแล้ว โดยเฉพาะเมื่อประมาณ 100 ปีมานี้ได้มีนักคณิตศาสตร์ที่ชื่อ H.Poincare ที่ได้รับรางวัลจากกษัตริย์แห่งสวีเดน เพราะสามารถพิสูจน์ได้ว่า ปัญหาอันนี้ไม่มีคำตอบสำหรับเสถียรภาพในช่วงระยะเวลาที่นานจนไม่มีขอบเขตจำกัด จึงทำให้นักวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันต้องหันมาสนใจแค่เสถียรภาพของสุริยจักรวาลในช่วงระยะเวลาอันหนึ่ง (finite span of time) เช่น เรารู้ว่าโลกนั้นมีอายุราว 4.55×10^9 ปี และไม่เคยมีอุบัติเหตุชนกับดาวพระเคราะห์ดวงอื่นเลยในที่แล้ว ๆ มา ความจริงเช่นนี้จะนำมาใช้กับดาวพระเคราะห์จูปีเตอร์ได้หรือไม่ เรารู้ว่าได้มีสิ่งที่มีชีวิตอุบัติขึ้นในโลกเมื่อ 3.5×10^9 ปีมาแล้วอันน่าจะแสดงว่าระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์นั้นไม่ได้มีอะไรเปลี่ยนแปลงมากนัก และเราจะใช้ความจริงอันนี้กับดาวพระเคราะห์ดวงอื่น เช่น ดาวพระอังคาร จะได้ไหม โดยดูจากบรรยากาศอันค่อนข้างอบอุ่นของดาวดวงนี้นับแต่อดีตจนปัจจุบัน อันทำให้น่าคิดต่อไปอีกว่า เสถียรภาพของวงโคจรของระบบสุริยะที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้สามารถเกิดกับระบบสุริยะอื่น ๆ ในกาแล็กซี่ของเราหรือเปล่า ซึ่งถ้าเกิดขึ้นจริง ๆ แล้วโอกาสที่จะเกิดสิ่งมีชีวิตที่มีปรีชาญาณ (ถ้ามีเวลาในการวิวัฒนาการอย่างพอเพียง) ก็น่าจะเป็นสิ่งที่เป็นไปได้

การแก้ปัญหาข้างต้นนี้จะบอกได้ว่า ระบบสุริยะจะยังคงมีเสถียรภาพต่อไปอีกหรือไม่จนกระทั่งถึงเวลา 10^{10} ปีนับจากนี้ซึ่งเมื่อถึงเวลานั้นแล้ว คาดว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงภายในดวงอาทิตย์อย่างขนานใหญ่

การใช้คอมพิวเตอร์มาแก้ปัญหาในเรื่องของเสถียรภาพของระบบสุริยะนั้นมีมากว่า 20 ปีแล้ว และส่วนมากจะเป็นการแก้ปัญหาทางคำนวณที่เรียกว่า integration โดยจะทำการอินทีเกรตนานเท่านั้นเท่านี้ล้านปี คือพูดกันเป็นล้านปี เป็นส่วนใหญ่ซึ่งจะรวบรัดเข้ามาที่ผลงานของนักคณิตศาสตร์ Milani และ Fox ที่ได้เสนอให้มีการใช้ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ Cray-1 ของศูนย์คอมพิวเตอร์ของมหาวิทยาลัยแห่งลอนดอนให้ทำการอินทีเกรต (integrate) วงโคจรของดาวพระเคราะห์เฉพาะในรอบนอก ๆ ของระบบสุริยะ (รูปที่ 6) เป็นระยะเวลา 100 ล้านปีและของทั้งระบบสุริยะเป็นเวลา 1 ล้านปีโดยควบคุมไม่ให้เกิดการผิดพลาดเกินกว่า 2-3 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการคำนวณทั้งหมด จุดมุ่งหมายของการคำนวณนี้ก็เพื่อจะสกัดข้อมูลในด้านพลศาสตร์ของรอบนอกของระบบสุริยะ และหาแนวโน้มของพารามิเตอร์ของเสถียรภาพด้วยการเทียบกับเวลาทางธรณีวิทยา (อันอาจนานถึง 4×10^9 ปี) นอกจากนี้ยังต้องการหาพฤติภาพในระยะยาวของวงโคจรของโลกในระยะเวลา 1-2 ล้านปีด้วยว่าเป็นเช่นใด

Milani และ Fox ได้ทำการทดสอบทางคำนวณในชั้นแรกไว้แล้วและได้ผลออกมาว่า การแก้ปัญหาที่เขาทั้งสองเสนอไว้ในข้างต้นนั้นจะต้องใช้เวลาซีพียูของ Cray-1 60 ชั่วโมง โดยจะทำการคำนวณด้วยความเร็วในระดับ 12 เมกะฟลอปภายใต้โปรแกรมที่อยู่ในสภาพของ vectorized code ถึงร้อยละ 90 ส่วนคำตอบจะออกมาในรูปของเลขจริง (real numbers) ที่ไม่มีฟอร์แมตที่จะอยู่ในเทปจำนวน 36 ม้วน และตัวเลขดังกล่าวจะอยู่ในเทปในระดับความหนาแน่น 6,250 ไบต์ต่อนิ้ว อันจะเท่ากับการเก็บข้อมูลที่ต้องการความจุขนาด 10^{10} ไบต์ โมเดลในเรื่องของเสถียรภาพของระบบสุริยะที่ Milani และ Fox สร้างขึ้นมานี้ได้มีผู้ให้ความสนใจมาก เช่น ศูนย์วิจัยไอบีเอ็มในนิวยอร์คที่เสนอจะให้เวลาเพื่อทดลองโมเดลดังกล่าวกับระบบ IBM/FPS เพื่อให้ได้คำตอบที่คืบหน้าต่อไปอีก



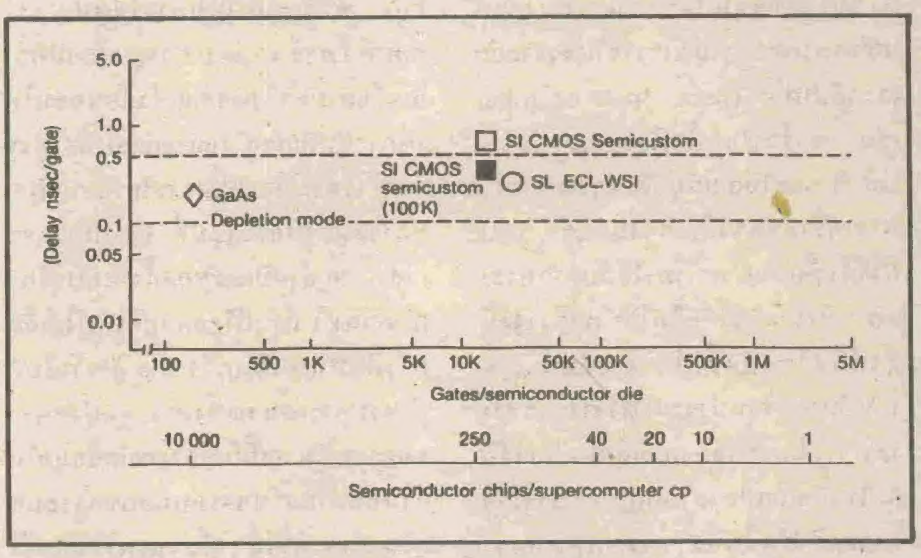
รูปที่ 6 วงโคจรของดาวพระเคราะห์รอบนอก

อนาคตของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์

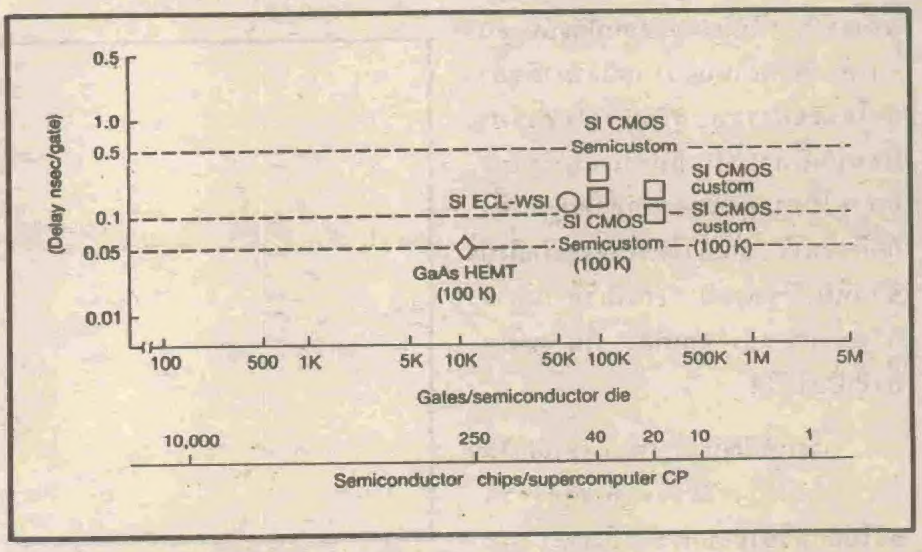
วิวัฒนาการของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ก็เหมือนกับการรุดหน้าของสรรพสิ่งส่วนใหญ่ในโลก ซึ่งต้องพึ่งเทคโนโลยีใหม่ ๆ ในด้านต่าง ๆ อันน่าจะเป็นของธรรมดาที่สุด เทคโนโลยีที่น่าจะสำคัญมาก ๆ ในแง่ของการเป็นพื้นฐานให้คอมพิวเตอร์หรือซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ทำงานให้เร็วขึ้นหรือมีประสิทธิภาพขึ้นเห็นจะเป็นการพยายามสร้างชิพชนิดต่าง ๆ ให้มีความแน่นมากขึ้นเรื่อย ๆ เช่น ชิพพวก VLSI Dynamic Random Access Memory (DRAM) ของไอบีเอ็มที่มีความหนาแน่น 1 ล้านบิต และ DRAM ของฮิตาชิที่มีความแน่นเท่ากับ 4 ล้านบิต อันเป็นผลสำเร็จเมื่อ 2-3 ปีมาแล้วซึ่งในขณะนี้ทุกอย่างน่าจะก้าวไปไกลพอสมควรดังผู้อ่านจะเห็นการรุดหน้าในเรื่องนี้นับตั้งแต่อดีตสู่อนาคตได้ จากรูปที่ 7, 8, และ 9 วิธีที่จะนึกภาพของชิพที่ใช้ในซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ให้ชัดออกมาในมโนภาพก็อาจทำได้เช่น กรณีของซุปเปอร์แบบ ETA-10 นั้นได้ใช้ชิพอย่างหนึ่งที่มีขนาดแค่ 1 ตารางเซนติเมตร ซึ่งภายในนั้นได้บรรจุสิ่งที่เรียกว่าเกตอยู่ 20,000 ตัว เป็นต้น อันนี้ก็เป็นตัวเลขก่อนปี ค.ศ. 1986 และถ้าต้องการจะดูวิวัฒนาการของเรื่องนี้ในอนาคตก็น่าจะดูจากรูปที่ 8 ซึ่งจะบอกอะไร ๆ ได้มาก

เทคโนโลยีในเรื่องของวงจรที่กำลังจะเข้ามามีบทบาทกับซุปเปอร์อย่างมาก ๆ ก็คือสิ่งที่เรียกว่า optoelectronic integration ที่ทำงานโดยอาศัยวงจรออปติคัล (optical circuits) เป็นจำนวนมากมาซ้อนกันเป็นชั้น ๆ ซึ่งในขณะทำงานก็จะมีทั้งคุณสมบัติทางไฟฟ้าและแสงอยู่ภายในตัวเอง ส่วนความเร็วของวงจรประเภทนี้ก็จะนับเป็นหมื่นเท่าของวงจรที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์ล้วน ๆ ในด้านของภาคปฏิบัตินั้น optoelectronic devices ในรูปที่ทำงานเชื่อมโยงเป็นวงจรขนาดใหญ่ ๆ ก็จะเข้ามามีที่ใช้ในซุปเปอร์คอมพิวเตอร์โดยจะทำให้ซุปเปอร์ในอนาคตเร็วกว่าในขณะนี้นับเป็นพันเท่า ที่แน่ ๆ ก็คือกระทรวงกลาโหมของสหรัฐฯ ได้ให้ทุนมหาวิทยาลัยหลาย ๆ แห่งให้ค้นคว้าผลักดันดิจิตอลคอมพิวเตอร์ให้มีความเร็วในระดับเทอราฟลอป (tera = 10^{12}) ให้สำเร็จในอนาคตอันใกล้ และก็มีผู้มองต่อไปอีกว่าในศตวรรษที่ 21 นั้นโลกจะมี **molecular คอมพิวเตอร์** ที่เล็กแสนเล็กไว้ให้ใช้

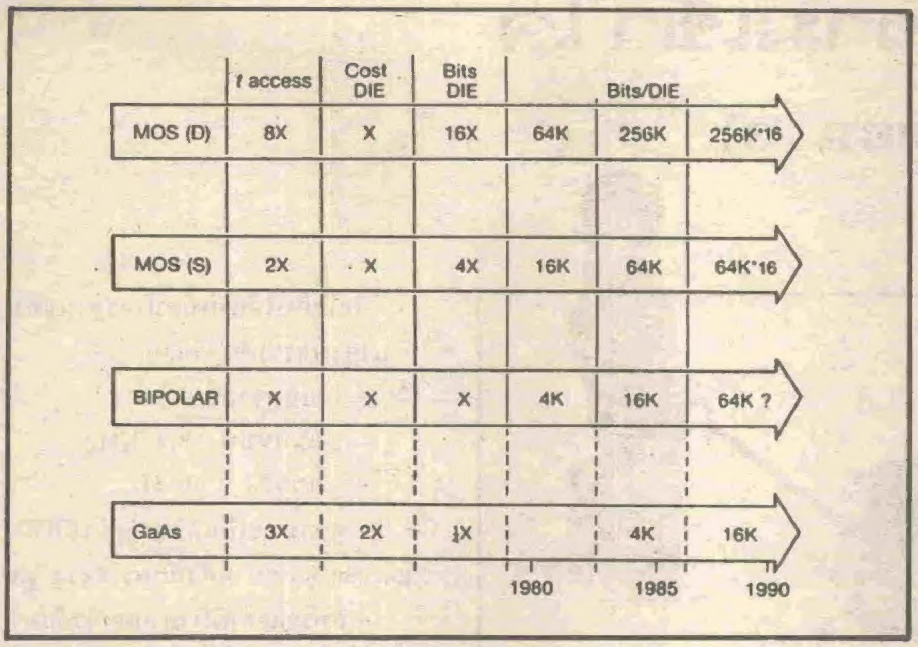
ส่วนอนาคตของซุปเปอร์คอมพิว-



รูปที่ 7 การรุดหน้าของเทคโนโลยีกึ่งตัวนำสำหรับซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ เมื่อ 1985-1987



รูปที่ 8 เทคโนโลยีกึ่งตัวนำสำหรับซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ในช่วง 1990-1992



รูปที่ 6 เส้นทางของพวก storage device ต่าง ๆ ในช่วง 1980-1990

เตอร์ในอีกไม่กี่ปีข้างหน้านี้ ก็จะเป็นไปในรูปของการมีจำนวนซีพียูมากขึ้นเรื่อย ๆ เช่น อาจใช้ซีพียูขนาดใหญ่เป็นจำนวนถึง 64 ตัวหรือมากกว่านั้นภายในคอมพิวเตอร์หนึ่งเครื่อง ในกรณีที่ใช้ซีพียูขนาดเล็กมาก ๆ ก็อาจใช้ซีพียูนับเป็นพันหรือเป็นหมื่นตัว เช่นกรณีของ connection machine อนึ่ง ในกรณีที่ใช้ซีพียูขนาดใหญ่นั้นก็จะมีการจัดวางตำแหน่งของซีพียูในแบบที่เรียกว่า tightly-coupled ส่วนขนาดของหน่วยความจำของซุปเปอร์ก็จะมีการเพิ่มให้ใหญ่หรือให้จุข้อมูลได้มากขึ้นเรื่อย ๆ เช่น กรณีของ Cray-2 และซุปเปอร์บางแบบของญี่ปุ่น เพื่อประโยชน์และความรวดเร็วในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ที่จะต้องมีการเรียกใช้ข้อมูลอยู่ตลอดเวลาและต้องใช้ข้อมูลคราวละมาก ๆ

คราวนี้ก็จะขอวกกลับมาพูดถึงผลงานในอนาคตอันใกล้บ้างว่า Cray Research Inc. นั้นจะนำซุปเปอร์แบบไหนออกสู่ตลาดบ้าง ในอีกราว 2-3 ปีจากนี้ ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ในสายความรับผิดชอบของสตีฟ เชนก็จะมีการนำเทคโนโลยีที่เป็นซีมอส เข้ามาใช้และจะใช้ซีพียูเป็นจำนวน 8 ตัวในแบบ Cray X-MP ส่วนแบบ Cray Y-MP นั้นก็ออกวางตลาดไปแล้วในช่วง 1986-1987 และจากนี้ก็จะมีเครื่องของ Cray แบบที่ใช้ซีพียู 64 ตัวที่เป็นฝีมือของเชน ส่วนอีกสายหนึ่งของ Cray Research ก็จะมีเครื่องแบบ Cray-3 ที่ใช้แกลเลี่ยมอาร์เซไนด์เทคโนโลยีซึ่งจะใช้โลจิกเกตที่มี propagation delay ประมาณ 100-200 ปิโควินาที (pico = 10^{-12}) ซึ่งจะเร็วกว่า Cray-2 ประมาณ 3-6 เท่า และคาดว่าสถาปัตยกรรมที่ใช้ใน Cray-3 นั้นจะเหมือนกันกับใน Cray-2 เป็นส่วนใหญ่ จำนวนซีพียูใน Cray-3 จะมีตั้งแต่ 8 ถึง 16 ตัว ส่วนหน่วยความจำแบบ shared memory ที่ใช้นั้นก็จะมีขนาดใหญ่ขึ้น ความเร็วสูงสุดของ Cray-3 จะสูงถึง 15 กิกะฟลอป (giga = หนึ่งพันล้าน) และยังคงใช้ 64-bit floating point arithmetic อยู่ คาดว่าปี พ.ศ. 1990 จะเป็นปีที่มีการประกาศ Cray-3 ออกมา

ซีมัวร์ เครย์นั้นออกแบบซุปเปอร์คอมพิวเตอร์มาเกือบ 30 ปีแล้ว และก็ได้วางรากฐานตลอดจนได้นำปรัชญาแนวความคิดใหม่ ๆ ในการออกแบบมาใช้มากที่สุดคนหนึ่งในวงการนี้อันรวมไปถึงวิธีการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพด้วย และถ้าหากอายุของบุคคลผู้นี้จะยืนต่อไปอีกนิดก็อาจมีซุปเปอร์แบบ Cray-4 หรือ Cray-5 ปรากฏให้โลกเห็นเป็นขวัญตาและขวัญปัญญาก็น่าจะติดตามกันต่อไป